

Tuote- ja turvatarkastuksissa sekä tutkimuksessa käytettävät röntgenlaitteet

Markku Koskelainen

Tuote- ja turvatarkastuksissa sekä tutkimuksessa käytettävät röntgenlaitteet

Markku Koskelainen

ISBN 978-952-478-279-1 (nid.) Edita Prima Oy, Helsinki 2007
ISBN 978-952-478-280-7 (pdf)
ISSN 0781-1713

KOSKELAINEN Markku. Tuote- ja turvatarkastuksissa sekä tutkimuksessa käytettävät röntgenlaitteet. STUK-B 85. Helsinki 2007. 24 s. + liitteet 5 s.

Avainsanat: röntgenlaite, röntgensäteily, ST-ohje, säteilyturvallisuus

Tiivistelmä

Säteilyturvakeskuksen antamissa ST-ohjeissa esitetään vaatimukset siitä kuinka säteilyn käyttö on järjestettävä, jotta säteilylain mukainen turvallisuustaso saavutetaan. Ohjeissa esitetään sekä yleisiä, kaikille säteilyn käyttöaloille yhteisiä vaatimuksia, että toimintakohtaisia vaatimuksia. ST-ohjeissa ovat myös kriteerit joita käytetään käytännön valvontatyössä, esimerkiksi turvallisuuslupahakemusten käsittelyssä ja käyttöpaikoilla tehtävissä tarkastuksissa.

Voimassa olevissa ST-ohjeissa on asetettu röntgenlaitteiden käyttöä koskevia toimintakohtaisia vaatimuksia terveydenhuollon ja teollisuusradiografian saralle. Teollisuuden ja turvatarkastusten läpivalaisulaitteiden, tutkimuksessa käytettävien analyttisten röntgenlaitteiden ja muiden röntgenlaite-sovellusten käytön osalta ei erityisohjeita ole toistaiseksi annettu. Toimintakohtaisten vaatimusten puuttuessa valvonta perustuu säteilylaissa ja -asetuksessa säädettyihin yleisiin vaatimuksiin, ohjeeseen ST 1.1, Säteilytoiminnan turvallisuusperusteet, muihin yleisiin ST-ohjeisiin ja kansainvälisiin suosituksiin.

Tässä raportissa esitellään käyttöä koskevat lupamenettelyt teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa käytettäville laitteille ja niiden käyttötavat, laitetyypit ja laitteiden käyttöön liittyvät keskeiset säteilyturvallisuusnäkökohdat. Lisäksi tähän raporttiin on koottu tietoja toimista, joilla laitteiden ja niiden käytön säteilyturvallisuudesta ja käyttöturvallisuudesta on varmistuttu joissakin muissa maissa.

Raportin tarkoituksena on antaa pohjatietoja harkinnalle siitä, onko aiheellista asettaa teollisuuden, turvatarkastusten ja tutkimuksen röntgenlaitteiden käytölle toimintakohtaisia vaatimuksia (ST-ohjeita) tai muuta ohjeistusta. Raportin johtopäätelmissä arvioidaan ohjeistuksen tarvetta ja toimintakohtaisia vaatimuksia, jotka voisivat edesauttaa laitteiden turvallista käyttöä. Ehdotetut vaatimukset perustuvat voimassa oleviin ST-ohjeisiin, säteilyn käyttöpaikoilla tehtyjen tarkastuksien havaintoihin ja muissa maissa voimassa oleviin määräyksiin.

KOSKELAINEN Markku. X-ray apparatus used in research and product and security checks. STUK-B 85. Helsinki 2007. 24 pp. + apps. 5 pp.

Key words: x-ray apparatus, x-ray radiation, ST-guide, radiation safety

Abstract

The ST-guides given by the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority demonstrate how radiation practices have to be organised to commensurate the safety-level required by the radiation act and decree. The guides give general and specific guidance to different uses of ionising radiation. ST-guides set out the criteria used for regulatory control.

The current ST-guides provide guidance for the use of x-ray apparatus in medicine and in non-destructive testing, but there is no specific guidance for apparatus used in security, research and industrial applications. As there is no specific guidance for these applications the regulatory approach is based on the general requirements of the Radiation act and decree and the general ST-guides, especially ST 1.1, Safety fundamentals in radiation practices.

The report demonstrates the Finnish regulatory procedure, type of apparatus in use, and the safety aspects associated with security, research and industrial x-ray applications. Additional information of the applicable international standards and regulations from selected countries is also provided.

The aim of the report is to assist in the decision making whether it is appropriate to provide specific guidance for the radiation practices involving security, research and industrial x-ray applications in the form of an ST-guide or general informative guidance. The conclusions of the report evaluate the need for guidance and the specific requirements which could further assist safer radiation practices for x-ray applications. The proposed requirements are based on existing ST-guides, information derived from inspections and regulations and guidance from third countries.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 RÖNTGENSÄTEILYN KÄYTTÖ	8
2.1 Röntgenlaitteiden käyttö teollisuudessa	8
2.2 Röntgenlaitteiden käyttö tutkimuksessa	9
2.3 Röntgenlaitteiden käyttö turvatarkastuksissa	10
3 SÄÄNNÖKSET SUOMESSA	11
4 TEOLLISUUDEN RÖNTGENLAITESTANDARDIT	13
5 TEOLLISUUDEN RÖNTGENLAITTEIDEN VALVONTA KANSAINVÄLISESTI	14
5.1 Saksa	14
5.2 Itävalta	14
5.3 Ruotsi	15
5.4 Norja	16
5.5 USA	16
5.6 Kanada	17
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	20
7 EHDOTUKSIA ST-OHJEESEEN	21
KIRJALLISUUSVIITTEET	23
LIITE 1 SUOMESSA TEOLLISUUDEN KÄYTÖSSÄ OLEVAT RÖNTGENLAITEET JA NIIDEN VALMISTAJAT SÄTEILYTUR- VAKESKUKSELLE ILMOITETTUIJEN LUOKITUSTEN MUKAAN	
LIITE 2 STUKIN TARKASTUKSISSA SUORITETTUIJA MITTAUSTULOKSIA (1.1.2005–1.3.2006)	

1 Johdanto

Uusia sovellutuksia röntgensäteilyn käytölle teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksissa kehitellään jatkuvasti. Tämä kasvattaa myös laitteiden käyttäjien määrää. Käyttäjien ja laitteiden määrän kasvaessa säteilyaltistuksen ja poikkeavien tapahtumien todennäköisyys kasvaa. Tällä hetkellä Suomessa käytetään teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksissa yli 600:aa röntgenlaitetta yli sadalta eri laitevalmistajalta (Liite 1).

Röntgensäteilyn käytölle teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa ei Suomessa ole toistaiseksi annettu toimintakohtaisia ohjeita. Tämä yhdistettynä röntgensäteilyn käytön ja käytötarkoitusten lisääntymiseen ovat tämän selvityksen lähtökohtana.

Tarve suojella ihmisiä röntgensäteilyltä tunnistettiin pian W.C. Röntgenin tunnistettua ensimmäiset ”x-säteet” [1,2], ja nykyään lähes kaikki maailman maat ovat kehittäneet säteilysuojelusäädöksiään työntekijöidensä ja väestönsä suojelemiseksi. Lähes poikkeuksetta valtiot ovat kehittäneet säteilysuojelusäädöksiään omiin tarpeisiinsa sopiviksi, ottaen huomioon kansainvälisen säteilysuojelukomission (ICRP) ohjeet ja suositukset. Suomessa säteilysuojelu perustuu säteilylakiin

[3], ja sen nojalla annettuihin säädöksiin ja niiden muutoksiin. Muutoksilla on pantu toimeen Euroopan Unionin (EU) säteilysuojelun perusnormit, eritoten Basic Safety Standards (BSS) -direktiivi 96/29/Euratom [4] työntekijöiden ja väestön suojelemiseksi. BSS-direktiivi pohjautuu ICRP 60-julkaisun [5] suosituksiin.

Suomessa röntgenlaitteiden käyttöä teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa säätelevät säteilylaissa ja -asetuksessa annetut määräykset. Tämän raportin tavoitteena on arvioida näiden röntgenlaitteiden ohjeistuksen tarvetta sekä Säteilyturvakeskuksen (STUK), että toiminnanharjoittajan kannalta. Tätä tavoitetta varten raportissa arvioidaan yleisesti röntgensäteilyn käytön tämänhetkistä tilannetta Suomessa ja pyritään tunnistamaan mahdollisia säteilysuojeluongelmia eri sektoreilla teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa. Lisäksi tarkastellaan myös muiden maiden viranomaisten ja standardisointijärjestöjen antamia röntgenlaitteiden ja niiden käytön säteilyturvallisuutta koskevia säädöksiä ja standardeja ja arvioidaan sitä, onko röntgenlaitteiden turvallisuudelle asetetut tavoitteet Suomessa mahdollista saavuttaa nykyisillä säädöksillä ja ohjeilla.

2 Röntgensäteilyn käyttö

Röntgenlaitteiden käytön säteilyturvallisuutta arvioitaessa on muistettava, että röntgenlaitteet ovat hyödyllisiä ja joskus jopa korvaamattomia työkaluja. Oikeutusperiaatteen mukaisesti säteilyn käytön oikeutusta arvioitaessa käyttöä ei pidä arvioida ainoastaan säteilysuojelun kannalta, vaan arviossa on huomioitava myös säteilynkäytön tuomat hyödyt.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan röntgensäteilyn käyttöä ja säteilysuojelujärjestelyjä teollisuuden, tutkimuksen ja turvatarkastusten yhteydessä.

2.1 Röntgenlaitteiden käyttö teollisuudessa

Suomessa röntgenlaitteita käytetään monilla eri teollisuuden aloilla. Yleisimmät käyttösektorit ovat metalliteollisuus (mm. terästeollisuus, valimot ja autoteollisuus), puu- ja paperiteollisuus, elektroniikkateollisuus, ympäristöteollisuus, elintarviketeollisuus ja metallin kierrätys.

Raskaassa teollisuudessa röntgenlaitteita käytetään erilaisten metallirakenteiden laadunvalvontaan. Yleisesti toiminta on teollisuusradiografiaa, mutta käytössä on myös pienempitehoisia röntgenlaitteita, jotka eivät varsinaisesti ole ohjeen ST 5.6 määritelmien mukaisia radiografialaitteita [6]. Vaikka laitteiden kuvausjännite ja -virta eivät ole radiografialaitteita vastaavia, niiden avulla voidaan paljastaa hitsaus- ja valuvirheitä tai rakenteiden halkeamia kevyemmissä rakenteissa (esim. asuinhuoneistojen putkistot). Raskaan teollisuuden käytössä olevat säteilylaitteet ovat yleisesti ottaen hyvin valvottuja ja laitteiden käyttö on STUKin tarkastuksissa tehtyjen havaintojen mukaan järjestetty asianmukaisesti ja noudattaen säteilylaissa ja ohjeessa ST 1.1 esitettyjä yleisiä periaatteita [7].

Terästeollisuus kuuluu osaltaan raskaaseen teollisuuteen, mutta röntgenlaitteiden käyttötarcoitukset ovat monimuotoisempia kuin muulla

raskaan teollisuuden aloilla. Terästeollisuudessa käytettävät röntgenlaitteet vaihtelevat kannettavista röntgensäteilyllä toimivista fluoresenssi-analysaattoreista tuotantolinjoille asetettuihin automaattisiin rakennetta tarkkaileviin röntgenlaitteisiin ja muuhun automaatiotekniikkaan. Terästeollisuudessa säteilyturvallisuus on STUKin tarkastuksissa tehtyjen havaintojen mukaan yleisesti ottaen hyvin järjestettyä, koska laitoksilla on selkeä käsitys säteilyturvallisuuden järjestämisestä muullekin säteilyn käytölle, esimerkiksi radiografiatoiminnalle ja umpilähteiden käytölle mukaan lukien korkea-aktiiviset umpilähteet [8].

Puu- ja paperiteollisuudessa röntgenlaitteita käytetään puun ja paperin laadunvalvonnassa ja automaatiotekniikassa. Röntgenlaitteille on monia sovelluksia tällä sektorilla (esim. tukkiröntgenit). Kuten raskaassa teollisuudessa yleensä, puuteollisuudessa käytön säteilyturvallisuus on hyvin järjestetty laitteiden rakenteellisin suojauksin, valvonta- ja tarkkailualueiden määrittelyllä sekä yksityiskohtaisilla työohjeilla [8].

Myös elektroniikkateollisuudessa käytetään röntgenlaitteita laadunvalvonnassa ja automaatiassa. Yleisimpiä sovelluksia ovat tietokoneohjatut mikropiirien läpivalaisulaitteet ja röntgenohjatut automaatioporat sekä pinnoitteiden paksuusmittarit. Useimmat elektroniikkateollisuuden käytössä olevista säteilylaitteista ovat suljettuja laitteita, joiden rakenteelliset suojat rajoittavat työntekijöiden säteilyaltistusta, ja turvakatkaisijat ja varoitusvalot pienentävät tahattoman altistuksen riskiä [8]. STUKin tarkastuksissa on todettu joidenkin elektroniikkateollisuudessa käytettävien laitteiden tuottavan vuotosäteilyä siinä määrin, että jatkuva työskentely laitteiden läheisyydessä saattaisi johtaa vuotuisen annoksen 0,3 mSv ylittymiseen [9]. Markkinoiden vaatiessa yhä parempia koko-hyötysuhteita uusilta elektroniikkalaitteilta ja niiden mikropiireiltä, on elektroniikkalaitteiden laaduntarkkailuun ja työstämiseen

kehitettyjen laitteistojen pitänyt myös kehittyä. Pystyäkseen toimittamaan elektroniikkateollisuudelle laitteistoja, joiden tarkkuus on vaadittavaa luokkaa, valmistajat ovat pyrkineet parantamaan omia laitteitaan. Usein nämä parannukset ovat johtaneet röntgenlaitteiden putkijännitteiden kasvamiseen ja nopeasti uusiutuvaan laitekantaan. Nopeasti uusiutuvat laitteet ja puutteelliset tiedot laitteiden säteilyturvallisuusominaisuuksista aiheuttavat aika ajoin ongelmia laitteiden turvallisuussupäksittelyyn.

Ympäristöteollisuudessa röntgensäteilyä käytetään lähinnä tutkimustarkoituksiin. Viime vuosina röntgensäteilyä tuottavia fluoresenssianalysaattoreita on otettu käyttöön etenkin ympäristönäytteiden seulonnassa ja pilaantuneen maan tunnistamisessa. Nämä röntgenputkilla toimivat fluoresenssianalysaattorit ovat viime vuosina pienentyneet kooltaan huomattavasti ja ne ovat monin paikoin korvanneet umpilähteillä toimivat analyysilaitteet. Röntgenputkella toimivat laitteet ovat osoittautuneet erittäin käytännöllisiksi ja niiden määrän voidaan olettaa kasvavan [10]. Säteilyturvallisuudeltaan nämä laitteet ovat oikein käytettyinä turvallisia, ja aiheutuvat säteilyannokset ovat helposti pidettävissä pieninä ohjeiden ja koulutuksen avulla. Laitteiden avoin säteilykeila, pieni koko ja helppokäyttöisyys voivat kuitenkin johtaa säteilyturvallisuuden heikkenemiseen ja tahattomaan altistuksen riskin kasvamiseen [11]. Tarkastuksissa käytyjen keskustelujen yhteydessä on selvinnyt, että laitteiden käyttäjät eivät aina ole täysin perillä käytönaikaisista turvallisuusvaatimuksista. Lisäksi tarkastuksissa tehtyjen havaintojen mukaan säteilyturvallisuuden varmistaminen kyseisille laitteille on erittäin kirjavaa.

Toinen yleinen sovellus röntgensäteilyn käytölle ympäristötutkimuksessa on röntgendiffraktometria, jota voidaan käyttää maaperän ja kivilajien ominaispiirteiden ja rakenteiden määrittämisessä. Näiden laitteiden suuri koko ja kiinteä sijainti helpottavat säteilyturvallisuuden varmistamista. Difraktometrien yleistä turvallisuutta käsitellään tarkemmin tässä raportissa tarkasteltaessa röntgenlaitteiden käyttöä tutkimuksessa.

Ympäristöteollisuudessa yleistyneet röntgenputkella toimivat fluoresenssianalyysilaitteet ovat viime vuosina yleistyneet myös metallinkierrätyksessä. Tällä sektorilla näitä käsikäyttöisiä laitteita käytetään kierrätysmetallin erilaisten metalli-

seosten tunnistamisessa ja erottelussa. Samat säteilyturvallisuutta heikentävät seikat kuin ympäristöteollisuudessa vaikuttavat todennäköisesti myös metallinkierrätyksessä.

Röntgenlaitteita käytetään elintarviketeollisuudessa muun muassa täyttöasteiden tarkkailuun ja laadunvalvontaan. Röntgenlaitteita käytetään etenkin panimoissa ja juomateollisuudessa, joissa ns. pintamittarit hoitavat täyttöasteen tarkkailun. Röntgenlaitteita käytetään erityisesti eineksien ja valmisruokien laadunvalvonnassa tunnistamaan mahdolliset vieraat kappaleet.

Edellä on esitetty vain joitakin röntgenlaitteiden käyttöalueita teollisuudessa. Uusia innovaatioita tulee jatkuvasti. Säteilysuojelliset periaatteet röntgenlaitteiden käytölle teollisuudessa ovat aivan samat kuin muussa säteilyn käytössä. Siten laitetypistä ja röntgenputken tehosta riippuen toimintaan on sovellettu muun muassa umpilähteiden käyttöä tai teollisuusradiografiaa koskevaa ohjeistusta.

Tilastoja Suomessa käytössä olevista röntgenlaitetypistä ja niiden valmistajista on esitetty liitteessä 1.

2.2 Röntgenlaitteiden käyttö tutkimuksessa

Tutkimuksen ja opetuksen röntgenlaitteet ovat useimmiten korkeakoulujen ja ammattikorkeakoulujen käytössä, mutta joitakin laitteita on käytössä myös yksityisillä yrityksillä sekä valtion tutkimuskeskuksissa. Yleisimpiä tutkimuslaitteita ovat hiukkaskokoanalysaattorit, fluoresenssianalysaattorit, röntgenspektrometrit, diffraktometrit sekä tavalliset röntgenlaitteet ja läpivalaisulaitteet. Näitä tutkimuslaitteita käytetään mm. fysiikan, kemian, biologian, geologian, ympäristötieteiden, historian, taiteen ja antropologian tutkimuksen alalla.

Tutkimustoiminnassa käytettävät laitteet voidaan helposti jakaa kahteen luokkaan: suljettuihin ja avoimiin laitteisiin. Tämä luokittelu kuvastaa myös laitteiden säteilyturvallisuutta, missä suljetun laitteen voidaan katsoa olevan turvallisempi kuin avoimen. Nykyisin tutkimuskäytössä olevista laitteista suurin osa on suljettuja, joiden rakenteelliset suojaukset ja turvamekanismit rajoittavat altistumisriskiä huomattavasti etenkin kokemattomien käyttäjien osalta. Tutkimuksessa suljettujen röntgenlaitteiden käyttö yleistyi 1970-luvulla, kun

uusia sovellutuksia laitteille kehitettiin teollisuuden tutkimustarpeisiin, ja korkeakoulut ryhtyivät käyttämään laitteistoja opetustarkoituksiin [8].

Avoimia röntgenlaitteita käytetään nykyään melko harvoin. Käytössä olevat avoimet laitteet ovat pääasiassa röntgendiffraktometrejä ja röntgenputkia, ja ne ovat pääosin suurimpien korkeakoulujen ja yliopistojen tutkijoiden käytössä. Näiden laitteiden säteilyturvallisuus on täysin käyttäjästä riippuvainen, koska laitteiden avoin rakenne sallii suojaamattoman säteilykeilan tuottamisen ilman turvajärjestelyjen ohituksia. Säteilyturvallisuuden kannalta vaarallisimpia toimenpiteitä avoimilla laitteilla ovat säteilykeilojen suuntaus ja muut huoltotoimenpiteet.

Röntgenlaitteiden käyttötarkoitukset tutkimuksessa ovat erittäin vaihtelevia. Normaalkäytössä tutkimuksen röntgenlaitteet ovat turvallisia. Erikoisemmissa sovelluksissa (käyttötilanteissa), etenkin avoimilla röntgenlaitteilla työskennellessä, käytön aikainen altistuminen on mahdollista, mutta altistumisen riskiä voidaan vähentää tehtäväkohtaisilla ohjeilla. STUKin tekemissä tarkastuksissa on todettu, että tutkimuksessa käytettävien laitteiden annosnopeudet työpisteissä ovat yleensä pieniä (Liite 2) ja normaalikäytössä vuotuista annosta 0,3 mSv ei ylitetä. Yleisesti voidaan todeta, että tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen röntgenlaitteiden käyttö on yleensä hyvin organisoitua, mutta joissakin tutkimuskeskuksissa ohjeistuksen puute on johtanut tilanteisiin, joissa laitteiden käytölle ei ole syntynyt tarvittavaa turvallisuuskulttuuria [9].

2.3 Röntgenlaitteiden käyttö turvatarkastuksissa

Jatkuvasti kasvavat matkustajamäärät sekä tarpeet nostaa yleistä turvallisuustasoa julkisissa tiloissa ja yleisötapauksissa on johtanut turvatarkastuksissa käytettävien läpivalaisulaitteiden määrän jatkuvaan kasvuun. Myös saapuvan postin tarkkailu eri laitoksissa ja yrityksissä on osaltaan lisännyt läpivalaisulaitteiden määrää.

Suurin osa käyttöön otetuista uusista läpivalaisulaitteista ei kuitenkaan aiheuta merkittävää säteilyaltistusta uusien laitekoonpanojen ja pienentyneiden putkijännitteiden vuoksi. NRPB:n (National Radiological Protection Board) tutkimuksen mukaan uusilla filmiturvallisilla läpivalaisulaitteilla kuvattavan kohteen primaarikeilannos on noin 6 μ Sv kuvaukselta, verrattuna 1 mSv:n annokseen, joka aiheutui vanhemmilla laitteilla [12]. Jos laitteiden rakenteellinen suojaus on suunniteltu ja valmistettu oikein ja oikeaoppiset turvajärjestelmät ovat käytössä, jäävät annosnopeudet laitteiden ulkopinnoilla niin pieniksi, että käyttäjien altistus jää erittäin alhaiseksi. Tämä on varmistettu STUKin tarkastusten yhteydessä tekemissä mittauksissa (Liite 2).

Turvatarkastuksissa käytettävät läpivalaisulaitteet ovat kehittyneet huomattavasti viime vuosina ja röntgensäteilyn käytölle on syntynyt uusia käyttötapoja. Matkatavaroiden läpivalaisuun on nykyisten läpivalaisulaitteiden lisäksi olemassa niin sanottuja CT-skannereita, joilla pystytään saamaan kolmiulotteisia kuvia matkatavaroista. Näiden laitteiden käytöstä kuvattaville kohteille aiheutuvat säteilyannokset ovat pidemmän kuvausajan vuoksi suurempia kuin tavanomaisilla läpivalaisulaitteilla. Suomessa ei ole vielä käytössä CT-skannereita matkalaukkujen läpivalaisuun.

Kaikkein uusimpia röntgensäteilyä hyödynttäviä turvatarkastuslaitteita ovat röntgensäteilyn sirontaan perustuvat henkilökannerit, joissa säteily kohdistetaan tutkittavaan henkilöön. Säteilyturvallisuuden kannalta nämä laitteet ovat mitä ilmeisimmin turvallisia, ja tutkittavan henkilön annos yhdestä rutiinitarkastuksesta on pienempi kuin lyhyelläkään lentomatalla aiheutunut annos kosmisesta säteilystä. Yhdestä tarkastuksesta johtuvat annokset ovat luokaa; 0,03 μ Sv–0,1 μ Sv. Tämän tyyppinen henkilökanneri otettiin koe-käyttöön Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuonna 2007 laitteen hyötyjen arvioimiseksi.

3 Säännökset Suomessa

Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) säteilysuojelustandardien [13], EU:n säteilysuojelun perusnormidirektiivin [4] ja kansainvälisen säteilysuojelukomission (ICRP) suosituksen [5] mukaisesti säteilysuojelun riittävä taso voidaan saavuttaa ainoastaan asianmukaisen infrastruktuurin kautta, jossa ovat osallisina niin säteilyn käyttäjät, kuin valvovat viranomaiset. Suomessa infrastruktuuri on järjestetty säteilylain ja -asetuksen [3,14] avulla, joka määrittelee toiminnan harjoittajan velvoitteet, valvontamekanismit (erityisesti lupajärjestelmän) ja valvontaviranomaisen valvontaoikeudet. Säteilylain, sen nojalla annettujen säädösten ja ohjeiden ja laissa säädetyn valvonnan tarkoituksena on turvata ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn haitoilta kuitenkin rajoittamatta hyväksyttävää säteilyn käyttöä tai säteilylle altistavaa toimintaa. Säteilyn käytön hyväksyttävyys on määritelty säteilylain 2 §:n mukaan seuraavasti:

1. toiminnasta saatavan hyödyn on oltava suurempi kuin siitä aiheutuvan haitan (*oikeutusperiaate*)
2. toiminnasta aiheutuva säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista (*optimointiperiaate*)
3. työntekijöiden ja väestön säteilyaltistus ei saa ylittää vahvistettuja enimmäisarvoja (*yksilön-suojaperiaate*).

Ilman yksityiskohtaista ohjeistusta teollisuuden ja tutkimuksen röntgenlaitteiden säteilyturvallisuus ja käytön hyväksyttävyys on arvioitava jokaiselle laitteelle erikseen.

Yleisesti röntgenlaitteiden valvonta STUKissa on jaettu terveydenhuoltoon ja teollisuuteen. Kuten edellä mainittiin teollisuuden, turvatarkastusten ja tutkimuksen puolella läpivalaisulaitteille, röntgenlaitteille ja niiden käytölle ei ole toimintakohtaista ohjeistusta. Röntgensäteilyn käyttöä

terveydenhuollossa koskevat seuraavat toimintakohtaiset ST-ohjeet:

- ST 3.1, Hammasröntgenlaitteiden käyttö ja valvonta [15]
- ST 3.2, Mammografialaitteet ja niiden käyttö [16]
- ST 3.3, Lääketieteelliset röntgentutkimuslaitteet ja niiden käyttö [17]
- ST 3.6, Röntgentilojen säteilyturvallisuus [18].

Näistä ohjetta ST 3.6 sovelletaan myös röntgentilojen suojarakenteisiin teollisuudessa. Ohjeen mukaan säteilysuojelun optimointiperiaatteen toteuttamiseksi ja eri säteilylähteistä aiheutuvan altistuksen huomioon ottamiseksi on röntgentilojen rakenteet suunniteltava siten, että väestön annos yhdestä kohteesta ei ylitä 0,3 mSv vuodessa. Tavallisesti tämän raportin tarkoittamissa teollisuuden röntgenlaitteissa on omat rakenteelliset suojaukset, jolloin ei välttämättä tarvita röntgentilojen lisäsuojauksia, kun huolehditaan riittävästä etäisyydestä. Laitteet voivat toimia myös niin alhaisilla energioilla, että normaalit seinärakenteet rajoittavat säteilyn annosnopeudet riittävän pieniksi.

Röntgenlaitteiden käyttöön teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa sovelletaan tällä hetkellä seuraavia yleisiä ST-ohjeita:

- ST 1.1, Säteilytoiminnan turvallisuusperusteet [7]
- ST 1.3, Säteilylähteiden varoitusmerkinnät [19]
- ST 1.4, Säteilyn käyttöorganisaatio [20]
- ST 1.5, Säteilyn käytön vapauttaminen turvallisuusluvasta ja ilmoitusvelvollisuudesta [21]
- ST 1.6, Säteilysuojelutoimet työpaikalla [22]
- ST 1.8, Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja pätevyyden edellyttämä säteilysuojelukoulutus [23]
- ST 7.1, Säteilyaltistuksen seuranta [24]

- ST 7.2, Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet [25]
- ST 7.5, Säteilytyötä tekevien työntekijöiden terveystarkkailu [26].

4 Teollisuuden röntgenlaitestandardit

Teollisuusradiografialaitteita lukuun ottamatta teollisuuden röntgenlaitteiden turvallisuuden edistämistä ohjaavia laitestandardeja ei ole kansainvälisissä ISO- ja IEC-standardeissa, eikä suurimmissa eurooppalaisissa standardeissa Deutsches Institut für Normung (DIN) tai British Standard (BS). Ainoat varsinaisesti säteilyturvallisuutta edistävät standardit teollisuuden röntgenlaitteille on julkaistu Yhdysvalloissa ANSI:n (American National Standards Institute) standardikokoelmassa.

ANSI standardien tarkoituksena on varmistaa yhteensopivuus USA:n valtakunnallisiin säteily-suojelusäännöksiin. Standardikokoelma N43 käsittelee säteilyä tuottavien laitteiden säteilysuojelua. Kaiken kaikkiaan N43-sarjaan kuuluu 4 teollisuuden ja tutkimuksen röntgenlaitestandardia:

- N43.2 Radiation Safety for X-ray Diffraction & Fluorescence Analysis Equipment [27]
- N43.3 General Radiation Safety Standard for Installations Using Non-Medical X-ray and Sealed Gamma Ray Sources, Energies up to 10 MeV (uusittavana)
- N43.16 Terms, Procedures and Training for X-ray and Gamma Security Based Systems (uusittavana)
- N43.17 Radiation Safety of Personnel Security Screening Systems ("henkilöskannerit") [28].

Standardissa N43.2 [27] käsitellään tutkimuksessa ja teollisuudessa käytettävien diffraktometrien ja fluoresenssianalysaattorien säteilyturvallisuutta. Standardi määrittelee laitteiden läheisyydessä olevat varoalueet. Näitä on tunnistettu kolme:

1. säteilyalue, annosnopeus $> 0,05 \text{ mSv/h}$ 30 cm:n etäisyydellä, eikä yli $0,05 \text{ Sv}$ vuodessa
2. valvottu alue, annosnopeus $0,02\text{--}0,05 \text{ mSv/h}$
3. valvomaton alue, annosnopeus $< 0,02 \text{ mSv/h}$.

Standardin mukaisesti näille alueille on annettava myös oleskeluaikarajoitukset siten, että ICRP 60:n annosrajat eivät ylitä ja ne on merkittävä varoituserkein. Nämä varoalueet eivät ole määriteltäviä samat kuin ohjeessa ST 1.6 määritellyt tarkkailu- ja valvonta-alueet.

N43.2-standardi jakaa röntgensäteilyä hyväksi käyttävät tutkimuslaitteet suljettuihin ja avoimiin laitteisiin. Standardin mukaan kaikkien röntgensäteilyä synnyttävien laitteiden pitäisi olla suljettuja, jos laitteiden käyttö sen sallii. Standardin N43.2 määrittelyksiä ovat myös, että vuotosäteily tai sironta laitteista ei aiheuta yli $0,1 \text{ mSv/h}$ annosnopeuksia 5 cm:n etäisyydellä, jos laitteen läheisyydessä olevissa työpisteissä annosnopeus ei saa ylittää $0,0025 \text{ mSv/h}$. Lisäksi suositellaan että laitteissa on passiivisen turvallisuuden periaatteella toimivia turvakytkimiä ja varoitusvaloja.

Standardi käsittelee myös käyttöohjeistusta ja käyttäjien vastuita, jotka pohjautuvat säteilysuojelun perusperiaatteisiin [13,27].

Standardit N43.3 ja N43.16 ovat tällä hetkellä uusittavana.

Standardi N43.17 [28] käsittelee uusia henkilökannereita. Standardi määrittelee annosrajajoitukset, joiden mukaisesti laitteet tulisi valmistaa sekä kuvaa rakenteelliset suojaukset, tarvittavat merkinnät, varoitusvalot ja varokytimet, jotka tarvitaan kyseisen standardin noudattamiseksi^{*)}.

^{*)} Kaikki ANSI N43.17-standardin vaatimukset löytyvät englanninkielisinä ANSI/HPS N43.17-2002 Radiation Safety of Personnel Security Screening Systems -julkaisusta.

5 Teollisuuden röntgenlaitteiden valvonta kansainvälisesti

Teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa käytettävien röntgenlaitteiden valvonta on kansainvälisesti hyvin vaihtelevaa, mutta useimmissa maissa niiden valvonta on järjestetty perustuen ICRP:n ja IAEA:n säteilysuojelusuosituksiin. Suurimmassa osassa maailman maista ei ole toimintakohtaisia säädöksiä röntgenlaitteiden käytölle teollisuudessa, turvatarkastuksissa ja tutkimuksessa paitsi radiografian alalla^{*)}. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan näitä toimintoja koskevia Saksan, Itävallan, Ruotsin ja Norjan säteilysuojelusäädöksiä. Euroopan ulkopuolelta on myös otettu joitain esimerkkejä, joissa teollisuuden röntgenlaitteiden käyttöä on ohjeistettu. Näistä esimerkkimaina toimivat USA ja Kanada.

5.1 Saksa

Joidenkin Euroopan Unionin maiden säännöksissä ja asetuksissa on sivuttu teollisuuden ja tutkimuksen alan röntgenlaitteita, kuten esimerkiksi Saksassa, jossa Röntgenverordnung 8 § määrittelee avoimille, suojatuille, suljetuille ja kouluröntgenlaitteille vaadittavat standardit. Standardien vaatimusten täyttyminen varmistetaan tarkastuslaitosten suorittamilla tarkastuksilla [29]. Säteilysuojelun kannalta tärkeimmät vaatimukset ovat:

- Avoimien laitteiden annosnopeudet eivät saa 0,5 m:n etäisyydellä fokuksesta ylittää arvoja 2,5 mSv/h alle 200 kV:n käyttöjännitteellä ja 10 mSv/h yli 200 kV:n käyttöjännitteellä. Jos yli 200 kV:n jännitteellä toimivaa röntgenputkea käytetään korkeintaan 200 kV:n jännitteellä, ei annosnopeus saa ylittää arvoa 2,5 mSv/h. Avoimille fluoresenssianalysaattoreille ja diffraktometreille raja-arvona on 25 µSv/h sulkijan ollessa "kiinni"-asennossa.
- Suojattujen laitteiden annosnopeudet eivät saa ylittää 0,1 m:n etäisyydellä arvoa 25 µSv/h, kun taas suljettujen laitteiden ja kouluröntgenlaitteiden annosnopeudet eivät saa 0,1 m:n etäisyydellä ylittää arvoa 7,5 µSv/h.
- Laitteet jotka eivät käytä röntgensäteilyä vaan tuottavat sitä haittasäteilynä eivät saa 0,1 m:n etäisyydellä laitteesta ylittää annosnopeutta 1 µSv/h.

5.2 Itävalta

Itävallassa yksityiskohtaisia vaatimuksia teollisuuden röntgenlaitteille ja niiden käytölle annetaan säteilyasetuksessa, General Order on radiation protection (AllgStrSchV), osa 4, kappale 1 [30]. Tämä asetus koskee myös röntgensäteilyllä toimivia radiografialaitteita. Asetuksen mukaan:

- Röntgenlaitteita on käytettävä röntgenhuoneessa, elleivät ne ole asetuksen mukaisesti suljettuja laitteita tai laitteen käyttötapa ja käyttötarkoitus estää röntgenhuoneessa työskentelyn.
- Jokaiselle markkinoilla olevalle röntgenlaitteelle on oltava käyttöohjeet, tekniset tiedot, säteilyturvallisuustiedot ja huolto-opas.
- Avoimille teollisuuden röntgenlaitteille annosnopeudet eivät saa ylittää 1 m:n etäisyydellä fokuksesta, sulkijan ollessa suljettuna, arvoja 2,5 mSv/h alle 200 kV:n jännitteellä toimivilla röntgenlaitteilla ja 10 mSv/h yli 200 kV:n jännitteellä toimivilla röntgenlaitteilla.
- Jos kyseessä on tutkimuskäyttöön tarkoitettu röntgenlaite, annosnopeus 50 cm:n etäisyydellä fokuksesta ei saa ylittää 10 µSv/h sulkijan ollessa suljettuna.
- Röntgenlaitteissa on oltava kytkentämahdollisuus ulkoiselle ohjauspaneelille tai virran kat-

^{*)} Tämä johtopäätös perustuu tulkittavissa olevien lakien ja ohjeiden tarkasteluun.

kaisijalle, paitsi jos kyseessä on suljettu laite.

- Kukaan ei saa olla röntgenhuoneessa laitteen toimiessa.
- Suojatuilta laitteilta vaaditaan, että 10 cm:n etäisyydellä laitteen pinnasta annosnopeus ei ylitä 3 $\mu\text{Sv/h}$ ja että laitetta ei voi käyttää suojien ollessa avoinna, paitsi jos annosnopeus suojien sisäpuolella on alle 3 $\mu\text{Sv/h}$. Joissain tapauksissa valvova viranomainen voi hyväksyä laitteen suojatuksi vaikka annosnopeus 10 cm:n etäisyydellä laitteen pinnasta ylittäisi raja-arvon puolitoistakertaisesti.
- Työskenneltäessä laitteilla, jotka eivät ole suljettuja ja joiden käyttö ei ole mahdollista röntgenhuoneessa:
 - työskentely on järjestettävä optimointiperiaatteen mukaisesti ja kaikkien työntekijöiden on oltava riittävän etäisyyden päässä röntgenputkesta ja sirottavista kohtioista
 - valvonta-alue on määriteltävä ja sitä on valvottava
 - valvonta-alueilla työskenneltäessä on varmistettava, että säteilysuojaukset ovat riittävät
 - röntgenlaitetta ei saa käynnistää ennen kuin asetuksen mukaiset kuvausvalmistelut on suoritettu
 - käytössä on oltava säteilymittari
 - säteilykeila on rajattava kollimaattoreilla
 - kuvausaika on pidettävä mahdollisimman pienenä
 - väestöä on suojeltava kaikin mahdollisin keinoin
 - säteilysuojauksen määrittelyssä on käytettävä teknisiä standardeja
 - käytöstä on pidettävä käyttöpäiväkirjaa ja valvova viranomainen voi vaatia laitteeseen käyttötuntilaskuria.

Itävallan säteilyasetuksessa, General Order on radiation protection, annetut ohjeet ovat pääasiassa radiografiaohjeita, mutta asetus velvoittaa myös muita toiminnan harjoittajia noudattamaan vähintään näitä vaatimuksia.

5.3 Ruotsi

Ruotsissa teollisuuden röntgenlaitteiden käytöstä on määrätty SSI:n (Statens strålskyddsinstitut) säädöksessä SSI FS 1995:2 Regulations on the Use of Equipment in Industry containing Sealed

Sources or X-Ray Tubes [31].

Tässä SSI:n säädöksessä määritellään umpilähteiden ja röntgenlaitteiden vaatimuksia aina radiografiasta muihin käyttötarkoituksiin. Röntgenlaitteiden käytöstä todetaan seuraavaa [31]:

- Luvan haltijan on varmistettava, että kaikki työ säteilylaitteilla on säteilysuojelun kannalta hyväksyttävää. Säteilylaitteilla työskentelevät työntekijät on perehdytettävä säteilyn käyttöorganisaatioon ja säteilysuojelu on otettava osaksi työympäristön laaduntarkkailuohjelmaa.
- Luvan haltijan on nimettävä yhteyshenkilö, jonka kautta yhteydet SSI:hin toimivat.
- Luvan haltijan on pidettävä kirjaa laitteista, jotka sisältävät röntgenputken. Kirjanpidosta tulee ilmetä luvan numero, laitteen sijainti, hankintapäivämäärä, valmistaja, tyyppi ja laitteen maksimikäyttöarvot kV:na ja mA:na, oleelliset muutokset ja henkilön nimi, joka vastaa laitteen säteilysuojien kunnosta.
- Merkintöinä vaaditaan ionisoivan säteilyn varoitusmerkintä, tyyppimerkintä ja merkintä, että laite sisältää röntgenputken. Jos kyseessä on pysyvä asennus, on laitteessa oltava lisäteksti ”Joniserande strålning. Följ strålskydds-föreskrifterna” ja yhteyshenkilön nimi.
- Säteilysuojusten toiminta tulee tarkistaa aina-kin vuosittain tai useammin jos tarpeellista.
- Säteilysuojelun kannalta merkittävät onnettomuudet ja vahingot on raportoitava SSI:lle.
- Jos pysyvästi asennettujen laitteiden lähetyvillä oleskellaan jatkuvasti, ei annosnopeus 2 metrin etäisyydellä saa ylittää 2,5 $\mu\text{Sv/h}$.
- Jos pysyvästi asennetun laitteen primäärikeila on avoin, on keilan oltava suljettu mahdollista altistusta aiheuttavien toimenpiteiden aikana (esim. huolto).
- Liikuteltavien laitteiden käyttäjillä tulee olla riittävät tiedot laitteen toiminnasta ja säteily-suojelusta.
- Liikuteltavan laitteen primäärikeilan aukon on oltava mitattavaa kohdetta kohti, kun sulkija on auki.
- Kun liikuteltava laite ei ole käytössä, on sulki-
jan oltava kiinni ja lukittu.
- Laitteita huoltavilla henkilöillä on oltava Ruot-
sin lainsäädännön vaatima koulutustaso.
- Liikuteltavat laitteet on varastoitava siten,
että niitä ei varasteta, eikä laitteita saa jättää

muuallle ilman valvontaa.

- Romutetut röntgenputket on tehtävä käyttökelvottomiksi.
- Toiminnan loppuessa luvanhaltijan on ilmoitettava siitä SSI:hin, myös muista muutoksista on ilmoitettava. Laitteen haltijan muutokseen tarvitaan erillinen lupa.

5.4 Norja

Norjalaisen asetuksen Regulations No. 1362 of 21 November 2003 on Radiation Protection and Use of Radiation (Radiation Protection Regulations) luvussa 3 säädetään teollisuuden käytössä olevista säteilylaitteista ja niiden merkinnöistä, mutta muut säteilysuojeluun kuuluvat määritelmät tulevat säteilysuojelun pääperiaatteista [32]. Säteilylaitteita koskevia säännöksiä on annettu asetuksen kappaleissa 13 ja 14.

Kappaleessa 13 määrätään, että kun se on mahdollista, tulisi käyttää aina mieluummin röntgensäteilylaitteita kuin radioaktiivisia aineita.

Kappaleessa 14 määritellään röntgenlaitteiden tarpeelliset merkinnät ja turvajärjestelyt. Kiinteästi asennetuille röntgenlaitteille on asetettu vaatimukseksi, että

- laitteet on suojattu siten, että annosnopeudet laitteen ulkopinnalla eivät ylitä arvoa 7,5 µSv/h
- röntgenlaitteissa on varoitusvalo tai äänimerkki, joka ilmaisee säteilyn tuotosta
- röntgenlaite ei tuota säteilyä ilman avainta tai koodia.

Asetuksessa tarkennetaan, että nämä vaatimukset koskevat vain teollisuuden ja tutkimuksen laitteita, eivätkä ohjeet päde lääketieteen röntgentoiminnalle.

5.5 USA

USA:ssa säteilysuojelua ohjeistetaan valtakunnallisella tasolla FDA:n (Food and Drug Administration) toimesta. FDA valvoo kaikkia säteilyä tuottavia elektronisia laitteita röntgenlaitteet mukaan lukien. Laitevalmistajat, joiden tuotteet täyttävät säteilyä tuottavien elektronisten laitteiden määritelmän ovat Federal Food Drug & Cosmetic (FD&C) Act -lain, osan 531, mukaan velvoitettuja seuraamaan ohjeita raportoinnista ja kirjanpidosta. Tarkat FDA:n säännökset säteilyä

tuottaville elektronisille laitteille on annettu turvasarjassa Title 21 – Food and Drugs Chapter I – FDA Department of Health and Human Services Subchapter J – Radiological Health (CFR 21), osat 1000–1299 [33].

Esimerkkejä FD&C Act -lain piiriin kuuluvista ja täten FDA:n valvomista laitteista on annettu CFR 21:n osassa 1000.15. Tältä listalta löytyvät teollisuuden ja tutkimuksen röntgenlaitteet. Teollisuuden ja tutkimuksen röntgenlaitteille ja turvatarkastuksissa käytettäville läpivalaisulaitteille raportointi ja kirjanpitovaatimukset on annettu CFR 21:n osassa 1002.

CFR 1002.12 (Radiation Safety Abbreviated Report) on säteilysuojeluraportti, josta ilmenee valmistaja ja laite, lyhyt kuvaus niistä laitteen ominaisuuksista, jotka vaikuttavat primaari/sekundaari säteilytuottoon tai säteilyaltistukseen, käyttötarkoitukset ja primaari/sekundaari säteilyannokset.

CFR 1002.13 (Annual Reports) on vuosiraportti, jossa laitevalmistajien on ilmoitettava CFR 21 1002.30a:n mukaiset vaihtuvat tiedot ja CFR 21 1002.30b:n mukaiset tilastot myydyistä ja asennetuista laitteista. CFR 21.1002.30 a ja b edellyttävät laitetoimittajia raportoimaan

- laitteiden säteilyturvallisuuteen tähtäävistä laadunvarmistusjärjestelmistä
- primaari/sekundaari säteilyannoksien mittaus tuloksista ja miten sekundaarisäteilyä kontrolloidaan,
- laitteiden säteilysojamateriaalien vanhenemisesta ja sen vaikutuksista säteilyturvallisuuteen
- säteilyturvallisuuteen liittyvästä kirjeenvaihdosta laitteen valmistajan, myyjien ja asiakkaiden välillä
- tilastot myydyistä ja asennetuista laitteista.

Lisäksi turvatarkastuksissa käytettävistä läpivalaisulaitteista on raportoitava CFR 21:n, osan 1002.40 mukaisesti, jossa vaaditaan, että laitemyyjät ja jälleenmyyjät pitävät kirjaa siitä kenelle laite on luovutettu, mikä on laitteen merkki, malli, sarjanumero ja muut tunnistettavat yksityiskohdat, myynti- tai vuokrauspäivä. Nämä tiedot tulee säilyttää ohjeen CFR 1002.41 mukaisesti tai luovuttaa välittömästi laitevalmistajalle joka hoitaa tietojen säilytyksen.

CFR 21:n osassa 1002 vaadituille raporteille ja niiden valmistelulle on annettu tarkka ohjeistus FDA:n toimesta, mutta näitä ohjeita ei ole päivitetty viimeisimmän lakimuutoksen jälkeen.

CFR 21:n osa 1020, Performance Standards for Ionizing Radiation Emitting Products, luettelee minimivaatimukset joillekin ionisoivaa säteilyä tuottaville laitteille. Teollisuuden ja tutkimuksen piirissä käytettäville laitteille ei löydy omaa ohjeistusta tästä sarjasta, mutta turvatarkastuksiin käytettäville läpivalaisulaitteille annetaan laitekohtaisia vaatimuksia, joissa vaaditaan, että

- annosnopeudet laitteiden ulkopinnoilla on rajoitettu tasolle 5 $\mu\text{Sv/h}$
- jokaisella läpivalaisulaitteella on pohja
- primaarikeilaan tai laitteeseen ei voida asettaa mitään ruumiinosaa
- kaikissa ovissa on kaksi varoitusmerkkiä ja kaikissa paneeleissa, jotka voidaan avata, on ainakin yksi varoitusmerkki
- maadoitusvirhe ei johda röntgensäteilyn tuottoon
- kaikissa läpivalaisulaitteissa on varoitusvalot ja ohjauslaitteet; laitteissa tulee olla vähintään kaksi varoitusvaloa, jotka ilmoittavat säteilyn tuotosta ja ohjauslaitteiden tulee olla erilliset pää- ja varoituslaitteita ja niiden on oltava lukittavia
- ohjauslaitteiston yhteydessä ja laitteiden sisäänmenojen läheisyydessä on turvamerkinnät; turvamerkkeissä tulee olla röntgenputkesta varoitettava symboli ja lisäteksti: "Caution: X-rays produced when energized" ohjauslaitteiston läheisyydessä, ja "Caution: Do not insert any part of the body when energized – X-ray hazard" sisäänmenojen yhteydessä
- laitteistoille on valmistajan tuottamat käyttö- ja säteilyturvallisuusohjeet.

Lisäksi laitteille joiden sisään voi mahtua ihmisen, on erillisiä vaatimuksia. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi suuret julkisilla paikoilla käytettävät läpivalaisulaitteet. Tällaisille laitteille on varmistettava, että:

- sisäpuolella on hätäkatkaisija, jolla voidaan pysäyttää säteilyn tuotto ja jota ei voida ohittaa muualta
- sisäpuolelta ei voi käynnistää säteilyntuottoa
- laitteen on annettava jatkuva äänimerkki ja näkyvä varoitussignaali ainakin 10 sekuntia

ennen säteilyntuoton alkamista, säteilyntuotto on kytkettävä näiden varojärjestelmien toimintaan, ja että vika yhdessä komponentissa ei saa vaikuttaa varojärjestelmien toimintaan

- laitteen sisällä on oltava näkyvä varoitussignaali joka toimii ainoastaan säteilyntuoton aikana, paitsi jos säteilyntuoton aika on alle 0,5 sekuntia jolloin valon on oltava päällä 0,5 sekunnin ajan
- laitteessa on merkintä, josta selviää edellä mainittujen varojärjestelmien tarkoitus ja hätäkatkaisijoiden toiminta
- edellä mainitun merkin on oltava luettavissa ja se on valaistu, kun laite on kytketty päälle.

Lisäksi annetaan erikoisvaatimuksia läpivalaisulaitteille julkisissa tiloissa. Näiden mukaisesti käyttäjällä on oltava mahdollisuus tarkkailla laitteen suuaukkoja säteilyntuoton aikana, ja hänellä on oltava mahdollisuus katkaista säteilyntuotto ja seuraavat kuvaukset jos kuvaus kestää yli 0,5 sekuntia. Jos kuvaus kestää alle 0,5 sekuntia on käyttäjällä oltava mahdollisuus katkaista laitteen toiminta ennen kuvasarjan jatkumista.

FDA:n suositukset teollisuuden ja tutkimuksen röntgenlaitteille on listattu NBS:n (National Bureau of Standards) käsikirjassa 111, joka perustuu vanhaan ANSI-standardiin N43.2, Radiation Safety for X-Ray Diffraction and Fluorescence Analysis Equipment, vuodelta 1977. Tämä standardi on kuitenkin uusittu vuonna 2003, mutta uutta NBS-käsikirjaa siitä ei ole julkaistu.

Vaikka FDA määritteleeikin valtakunnalliset vaatimukset, on USA:n säteilynsuojelu ja lupamennettely jokaisen osavaltion viranomaisten vastuulla ja he voivat parhaaksi katsomallaan tavalla tarkentaa FDA:n valtakunnallisia ohjeita.

5.6 Kanada

Laitevalmistajien haastatteluista ilmeni, että Kanadan säännöstö ja valvontaviranomaiset ovat teollisuuden röntgenlaitteiden valvonnassa erittäin vaativia ja katsottiin olevan asianmukaista raportoida Kanadan säännöstöstä. Kanadassa röntgensäteilyn käyttöä valvoo Health Canada, Radiation Emitting Devices Act -lakiin nojautuen. Health Canadan asettama säännöstö on nimeltään Radiation Emitting Devices Regulations (C.R.C., c. 1370), joista osat IV, XIV ja XV liittyvät läpivalaisulaitteisiin ja tutkimuksen röntgenlaitteisiin

[34]. Säännöstössä määritellään vaatimukset kaikille uusille säteilyä tuottaville laitteille. Vaikka Radiation Emitting Devices Regulations (C.R.C., c. 1370) -säännösten vaatimukset on tarkennettu monille eri laitteille (osa IV Turvatarkastusten läpivalaisulaiteet, osa XIV Analyttiset röntgenlaitteet ja osa XV Suljetut röntgenlaitteet) ovat ne monilta osin hyvin samantyyppiset kuin FDA:n CRF 21:n, osan 1020 asettamat vaatimukset läpivalaisulaiteille (katso USA). Radiation Emitting Devices Regulations -säästösten pääpiirteiset vaatimukset röntgenlaitteiden osalta ovat:

- Primäärikeilaan tai laitteeseen ei saa voida asettaa mitään ruumiinosaa.
- Kaikissa omissa ja avattavissa paneeleissa on oltava kaksi varokytintä.
- Laitteessa on oltava varoitusvalot tai muunlaiset varoittimet, jotka ilmaisevat säteilyn tuotosta.
- Ohjauslaitteista, joista säteilyn tuottoa säädelään, toisen on oltava lukittava.
- Ohjauslaitteiston yhteydessä avattavien paneelien kohdalla tai laitteiden sisäänmenojen läheisyydessä on oltava turvamerkinnät (turvamerkkeihin liitetty teksti on määritelty laitekohtaisesti). (Kuva 1)
- Laitteessa on oltava laitekilpi, josta ilmenee valmistajan nimi ja osoite, laitteen malli, sarjainumero, valmistuspäivä ja valmistusmaa.
- Annosnopeus on rajoitettava laitteiden ulkopinnoilla tasolle 5 µSv/h.
- Laitteistoille on oltava valmistajan tuottamat käyttö- ja säteilyturvallisuusohjeet.

Röntgenlaitteille on käyttötarkoituksesta riippuen myös tarkempia määräyksiä säädöksessä Radiation Emitting Devices Regulations (C.R.C., c. 1370), osista IV Baggage X-Ray Inspection Systems, XIV Analytical X-Ray Equipment ja XV Cabinet X-ray Equipment.

Säästösten lisäksi Kanadassa on erittäin kattava ohjeistus, joka koskee röntgenlaitteiden käyttöä tutkimuksessa ja turvallisuuden edistämiseksi. Ohjeiden tarkoituksena on varmistaa, että röntgenlaitteista johtuvat riskit ovat mahdollisimman vähäisiä. Ohjeissa määritellään myös toiminnan harjoittajan, käyttäjien ja huoltajien vastuut, sekä määritellään vaadittavat laitestandardit, turvaohjeistus ja laitteen turvallisuuden tarkastaminen mittauksin.

Ohjeet, Safety Requirements And Guidance For Analytical X-ray Equipment – Safety Code 32 ja Requirements for the Safe Use of Baggage X-Ray Inspection Systems – Safety Code 29, asettavat samantyyppisiä vaatimuksia toiminnan harjoittajille, käyttäjille ja huoltajille.

Toiminnan harjoittajan on varmistettava, että

- laitteet on asennettu ohjeistuksen vaatimalla tavalla
- käyttäjien koulutus ja jatkokoulutus järjestetty, (läpivalaisulaitteiden käyttökurssin pitää olla viranomaisen hyväksymä)
- turvaohjeet löytyvät laitteiden läheisyydestä
- käyttäjät ovat ymmärtäneet heille kuuluvat osat turvaohjeista
- laitteiden huolto-ohjelma on järjestetty siten, että viat havaitaan ja korjataan välittömästi
- käytössä on säteilymittari, jota voidaan käyttää myös huollon yhteydessä (läpivalaisulaitteiden huoltoon vaaditaan ionisaatiokammioilla toimiva mittari)
- säteilyaltistustapaukset tutkitaan
- säteilyaltistustapauksissa toimitaan tilanteen vaatimalla tavalla
- laitteen viimeisin säteilymittausraportti on viranomaisten saatavissa
- tutkimuslaitteille vaaditaan lisäksi, että laitteen huoltotoimenpiteistä vastaava henkilö on paikalla tarkastuksissa.

Käyttäjien on varmistettava, että

- heille on annettu laitteen käyttökoulutus
- he ovat ymmärtäneet koulutuksen ja laitteisiin liittyvät säteilyvaarat
- laitteet kytketään pois päältä poikkeavissa tilanteissa ja asiasta ilmoitetaan toiminnan harjoittajalle tai vastuuhenkilölle.

Huoltohenkilöstön on varmistettava että:

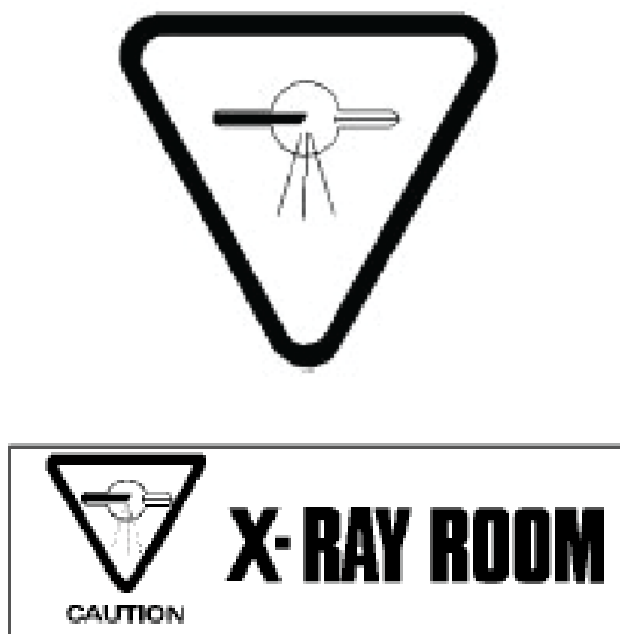
- heille on annettu tarvittava koulutus laitteen huoltoa varten (läpivalaisulaitteiden huoltajien koulutuksen tulee olla valvovan viranomaisen hyväksymä)
- he ovat ymmärtäneet huoltotoimenpiteisiin liittyvän ohjeistuksen
- huollon yhteydessä mahdolliset vuotokohdat tarkastetaan ja säteilykentät määritellään kalibroiduilla säteilymittareilla
- he tuottavat toiminnan harjoittajalle seikkape-

räiset ohjeet mahdollisista käyttäjien altistumisriskeistä.

Lisäksi läpivalaisulaitteiden käyttäjät ja huoltohenkilöstö ovat ohjeiden mukaisesti vastuussa kaikkien vikojen ilmoittamisesta ja yleisestä turvallisuudesta toiminnasta ja turvallisuuskulttuurin luomisesta. Tutkimuslaitteiden käyttäjien ja huoltohenkilökunnan on käytettävä henkilökohtaista annosmittaria ja tehtävä laitteiden säteilymitauksia aina kun laitteistojen rakennetta muutetaan tai laitteita huolletaan.

Ohjeissa asetetaan myös laitevaatimuksia, jotka on listattu Radiation Emitting Devices Regulations-säädöksissä. Lisäksi laitteiden asennuksille ja säteilykenttien valvonnalle ja seurannalle annetaan yksityiskohtaisia ohjeita.

Safety Requirements And Guidance For Analytical X-ray Equipment – Safety Code 32-ohjeistuksessa on määritelty myös se miten vanhat röntgenlaitteet saadaan täyttämään Radiation Emitting Devices Regulations (C.R.C., c. 1370)-säädösten uusille röntgenlaitteille asettamat vaatimukset.



Kuva 1. Health Canadian Radiation Emitting Devices Regulations, C.R.C., c. 1370:n mukainen varoituskilpi röntgenlaitteelle, ja sama varoituskilpi lisätekstillä.

6 Johtopäätökset

Suomessa röntgenlaitteiden käyttöpaikoilla riittävän turvallisuustason saavuttamisessa suurin rooli on säteilylailla ja etenkin säteilysuojelun perusperiaatteilla, joita ovat oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaate. Nämä merkittävät periaatteet tunnustetaan tällä hetkellä säteilysuojelun perustaksi niin väestö-, työntekijä- kuin ympäristösuojelussa. Toimintakohtaisten ohjeiden puuttessa, nykyisistä ohjeista ST-ohjeiden 1-sarjan yleiset ohjeet ovat hyödyllisimpiä toiminnan harjoittajille, jotka käyttävät röntgenlaitteita teollisuudessa, turvatarkastuksissa tai tutkimuksessa.

Kansainvälinen vertailu osoittaa, että joissakin maissa on käytössä hyvin yksityiskohtaisia ohjeita teollisuuden röntgenlaitteiden säteilyturvallisuuden varmistamiseen. Vaikka Suomessa ei ole käytössä yksityiskohtaisia ohjeita röntgenlaitteiden käyttöön, niihin liittyvä säteilysuojelu voidaan katsoa riittäväksi, kun tarkastellaan voimassa olevia säädöksiä ja ST-ohjeita sekä näissä annettuja vaatimuksia ja otetaan huomioon, että Suomessa ei viime vuosien aikana ole röntgensäteilyn käytössä ilmennyt annosrajoja ylittäviä altistumispauksia niin teollisuuden, tutkimuksen kuin turvatarkastustenkaan piirissä. Kuitenkin voidaan katsoa, että tarkemman ohjeistuksen antaminen röntgenlaitteille ja niiden käytölle voisi parantaa säteilyturvallisuutta ja kehittää turvallisuuskultuuria käyttöorganisaatioissa.

STUKin tarkastuskäynneillä röntgensäteilyn käyttöpaikkoihin on havaittu huomattavaa vaihtelua säteilysuojelujärjestelyissä, laitteiden säteilyturvallisuudessa ja turvallisuuskulttuurissa. Jos

tähän etsitään ratkaisua kansainvälisistä malleist, on otettava huomioon Suomen kansallinen perspektiivi säteilysuojeluun ja mietittävä STUKin tämänhetkisiä vaatimuksia röntgenlaitteille ja niiden käytölle. STUK ei vaadi säteilylaitteille tyyppitarkastuksia, vaan lupa myönnetään hakemuskohdaisesti jos pystytään osoittamaan, että laitteiden säteilyturvallisuus on hoidettu säteilylain ja -asetuksen sekä ST-ohjeiden mukaisesti. On mahdollista, että turvallisuusluvan hakeminen ja myöntäminen olisi yksinkertaisempaa niin toiminnanharjoittajan kuin STUKin kannalta, jos teollisuuden röntgenlaitteiden ja niiden käytön ohjeistus koottaisiin yhdeksi yksityiskohtaiseksi ohjeeksi, josta ilmenevät yleiset vaatimukset röntgensäteilyn käytölle, laitevaatimukset sekä käytön aikaiset vaatimukset.

Kokemuksen perusteella voidaan todeta, että nykyisen valvonnan avulla pystytään varmentamaan säteilyturvallisuus, ja että nykyiset säteilylaki ja -asetus sekä yleiset ST-ohjeet kattavat laitteiden käytölle tarpeelliset vaatimukset. Toiminnanharjoittajat ovat kuitenkin STUKin tarkastuksissa ilmaisseet, että ST-ohjeita on paikoin vaikea soveltaa röntgenlaitteiden käyttöön ja röntgenlaitteille. Tämän selvityksen aikana todettiin, että toimintakohtaisen ohjeistuksen puute ei ole varsinaisesti heikentänyt säteilyturvallisuutta, mutta ohjeistuksella voitaisiin helpottaa säteilyturvallisuuden varmistamista sekä toiminnanharjoittajan että valvovan viranomaisen STUKin näkökulmasta.

7 Ehdotuksia ST-ohjeeseen

Nykyisistä ST-ohjeista, käyttöpaikoille tehdyistä tarkastuksista ja muissa maissa voimassa olevista määräyksistä on mahdollista suositella joitakin pääkohtia mahdolliseen teollisuuden röntgenlaitteiden käyttöä käsittelevään ST-ohjeeseen. Radioaktiivista ainetta sisältävien lähteiden käyttöä koskevista ohjeista ST 5.1 ja ST 5.6 voitaisiin omaksua joitakin yleisiä ohjeita ja käytönaikaisia vaatimuksia. Kansainvälisistä standardeista ja säädöksistä on mahdollista kerätä tarkkoja, laitteita ja laitteiden käyttöä koskevia ohjeita, jotka edesauttavat laitteiden säteilyturvallisuutta ja käyttölaitosten turvallisia työtapoja. Mahdollisen uuden ohjeen tulisi siis pyrkiä edistämään laitteiden turvallisuutta, niiden turvallista käyttöä ja rajoittaa säteilyaltistusta siten, että ohjeiden mukaisesti toimittaessa työntekijöitä ei tarvitse luokitella säteilytyötä tekeviksi työntekijöiksi.

Seuraavissa kappaleissa näitä mahdolliseen uuteen ST-ohjeeseen sisällytettäviä vaatimuksia on kerätty seuraavien otsikkojen alle: turvallisuuslupa, yleiset käytönaikaiset vaatimukset, ja poikkeavat tapahtumat.

Turvallisuuslupa

Yleisissä vaatimuksissa käsiteltäisiin turvallisuuslupaa, vastaavaa johtajaa ja käyttöorganisaatiota, sekä työntekijöiden koulutusta ja opastusta että vaadittavia ohjeita. Mahdollisia ohjeeseen sisällytettäviä vaatimuksia:

- Röntgensäteilyä tuottavien laitteiden käyttöä varten on oltava turvallisuuslupa, ellei käyttöä ole säteilylain (592/1991) 17 §:n nojalla vapautettu turvallisuusluvasta.
- Vastaavan johtajan tehtävät ja pätevyysvaatimukset sekä tiedot organisaatioselvityksen laatimisesta on annettu ohjeessa ST 1.4. Säteilynkäyttöorganisaatiosta voisi lisäksi ohjeistaa ohjeen ST 1.8 mukaisesti.
- Luvan haltijan on varmistettava että kaikki

työ säteilylaitteilla on säteilysuojelun kannalta hyväksyttävää. Säteilylaitteilla työskentelevät työntekijät on perehdytettävä säteilyn käyttöorganisaatioon ja säteilysuojelu on otettava osaksi työympäristön laaduntarkkailuohjelmaa.

Laitteiden asennuksesta, huollosta ja korjauksesta voisi lisäksi ohjeistaa ohjeen ST 5.8 mukaisesti.

Yleiset käytönaikaiset vaatimukset

Otsikon mukaisesti käytönaikaisissa laitevaatimuksissa asetettaisiin vaatimuksia teollisuuden röntgenlaitteiden käytölle. Tutkimuksen aikana havaittiin selviä eroja eri laitteiden säteilyturvallisuudessa. Käytönaikaisten vaatimusten asettamiseksi onkin aiheellista erotella teollisuuden röntgenlaitteet niiden säteilyturvallisuuden mukaisesti. Luokituksen pohjaksi ehdotetaan jakoa kolmeen eri luokkaan: suljetut laitteet, suojatut laitteet ja avoimet laitteet.

Suljetulla röntgenlaitteella tarkoitetaan laitetta, jossa röntgenputki ja säteilykeila on suojattu rakenteellisin suojuksin ja tutkittava tai analysoitava kohde on suojauksen sisällä tilassa, johon ei ole pääsyä sulkijan ollessa avoinna.

Suojatulla röntgenlaitteella tarkoitetaan laitetta, jossa röntgenputki ja säteilykeila on suojattu rakenteellisin suojuksin ja tutkittava tai analysoitava kohde on suojauksen sisällä tilassa, johon on pääsy sulkijan ollessa avoinna.

Avoimella röntgenlaitteella tarkoitetaan laitetta, jossa säteilykeila suuntautuu laitteen ulkopuolelle.

Säteilysuojeluvaatimukset näille luokituksille ovat hyvin erityyppiset ja niitä on harkittava tarkasti ohjeistusta valmisteltaessa. Teollisuuden röntgenlaitteiden käytönaikaisissa laitevaatimuksissa pitää kiinnittää huomiota ainakin:

- varoitusmerkintöihin, varoitusvaloihin ja/tai äänimerkkeihin

- röntgenlaitteen lukitsemiseen
- laitteen enimmäisannosnopeuksiin
- laitteiden käytöstä aiheutuvaan efektiiviseen annokseen ja oleskelutekijöihin.

Laitteiden käytöstä aiheutuvan efektiivisen annoksen ja oleskelutekijöiden varmistamiseksi voitaisiin asettaa seuraavan tyyppisiä vaatimuksia:

- Alueella, jolla röntgensäteilystä aiheutuva annosnopeus on suurempi kuin 0,5 $\mu\text{Sv/h}$, ei saa työskennellä pysyvästi.
- Alueella, jolla röntgensäteilystä aiheutuva annosnopeus on suurempi kuin 1,5 $\mu\text{Sv/h}$, päivittäinen oleskeluaika ei saa ylittää yhtä tuntia.
- Jos käyttö- tai huoltotehtävissä joudutaan työskentelemään siten, että on mahdollista altistua röntgensäteilystä johtuvalle annosnopeudelle, joka on suurempi kuin 5 $\mu\text{Sv/h}$, työtä varten on laadittava erilliset ohjeet.

Turvallinen työskentely edellyttää, että laitteen käyttäjillä on riittävä käyttö- ja säteilyturvallisuuskoulutus ja ajan tasalla olevat työskentelyohjeet. Turvallista työskentelyä voitaisiin edistää seuraavilla vaatimuksilla:

- Laitteen käyttäjillä tulee olla riittävät tiedot laitteen toiminnasta ja säteilysuojelusta.
- Laitteella tulee olla säteilyturvallisuusohjeet.

- Laitteita huoltavilla toiminnan harjoittajilla on oltava toimintaan oikeuttava turvallisuuslupa ja henkilöstöllä tehtävään riittävä koulutus.

Laitteiden säilytys on järjestettävä siten, että laitteen luvaton käyttö estetään. Luvattonta käyttöä voidaan estää noudattamalla seuraavia vaatimuksia:

- Laitteita on säilytettävä lukitussa tilassa.
- Liikuteltavat laitteet on aina varastoitava lukolliseen kuljetuslaatikkoon luvattoman käytön estämiseksi.
- Liikuteltavista laitteista ja käyttöpaikoista on oltava käyttöpäiväkirja.

Poikkeavat tapahtumat

Poikkeavalla tapahtumalla säteilyn käytössä tarkoitetaan normaalista toiminnasta poikkeava tapahtumaa, jonka seurauksena turvallisuus vaarantuu merkittävästi säteilyn käyttöpaikalla tai sen ympäristössä. Poikkeavista tapahtumista voisi ohjeistaa ohjeen ST 5.8 mukaisesti.

Jos röntgensäteilyn käytölle harkitaan ST-ohjeen valmistelemista on harkittava tarkasti, ettei röntgensäteilyn käytön moninaisuutta ja tulevia innovaatioita rajoiteta tarpeettomasti ja ettei nykyisiä käytössä olevia laitteistoja suljeta ohjeistuksen ulkopuolelle.

Kirjallisuusviitteet

- 1 Howley JR, Robbins C. Radiation Hazards from x-ray diffraction equipment. Radiological Health Data and Reports vol. 8 No. 5, 1967.
- 2 A summary of industrial accidents in USAEC Facilities, 1965-1966. United States Energy Commission, Division of Technical Information. Oak Ridge, Tennessee, 1961.
- 3 Säteilylaki 27.3.1991/592.
- 4 European Commission. Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Official Journal of the European Communities, No L 159, 29.6.1996.
- 5 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication No. 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
- 6 STUK. Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa. Ohje ST 5.6. Säteilyturvakeskus (17.2.1999).
- 7 STUK. Säteilytoiminnan turvallisuusperusteet. Ohje ST 1.1. Säteilyturvakeskus (23.5.2005).
- 8 Keskustelu ylitarkastaja Seppo Väisälän kanssa, marraskuu 2005.
- 9 Raportoidut mittaustulokset määräaikaistarkastusten yhteydessä 1.8.2005–1.1.2006.
- 10 Keskustelu ja tutustumiskäynti Oxford Instruments, joulukuu 2005.
- 11 Keskustelut määräaikaistarkastusten yhteydessä 1.8.2005–1.1.2006.
- 12 National Radiological Protection Board (NRPB). Newsletter of the Personal Monitoring Services, Number 26. Didcot, 2004.
- 13 International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115. Vienna: IAEA; 1996.
- 14 Säteilyasetus 20.12.1991/1512.
- 15 STUK. Hammasröntgenlaitteiden käyttö ja valvonta. Ohje ST 3.1. Säteilyturvakeskus (27.5.1999).
- 16 STUK. Mammografialaitteet ja niiden käyttö. Ohje ST 3.2 (13.8.2001).
- 17 STUK. Lääketieteelliset röntgentutkimuslaitteet ja niiden käyttö. Ohje ST 3.3. Säteilyturvakeskus (20.3.2006).
- 18 STUK. Röntgentilojen säteilyturvallisuus Ohje ST 3.6. Säteilyturvakeskus (24.9.2001).
- 19 STUK. Säteilylähteiden varoitusmerkinnät. Ohje ST 1.3. Säteilyturvakeskus (16.5.2006).
- 20 STUK. Säteilyn käyttöorganisaatio. Ohje ST 1.4. Säteilyturvakeskus (16.4.2004).

- 21 STUK. Säteilyn käytön vapauttaminen turvallisuusluvasta ja ilmoitusvelvollisuudesta. Ohje ST 1.5. Säteilyturvakeskus (1.7.1999).
- 22 STUK. Säteilysuojelutoimet työpaikalla. Ohje ST 1.6 (29.12.1999).
- 23 STUK. Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja pätevyyden edellyttämä säteilysuojelukoulutus. Ohje ST 1.8 (16.4.2004).
- 24 STUK. Säteilyaltistuksen seuranta. Ohje ST 7.1 (2.8.2007).
- 25 STUK. Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet. Ohje ST 7.2 (9.8.2007).
- 26 STUK. Säteilytyötä tekevien työntekijöiden tarkkailu. Ohje ST 7.5 (4.5.2007).
- 27 An American National Standard-Radiation Safety for X-ray Diffraction & Fluoresence Analysis Equipment. ANSI/HPS N43.2-2001. American National Standards Institute Inc, 31.7.2001 .
- 28 An American National Standard-Radiation Safety of Personnel Security Screening Systems. ANSI/HPS-N43.17-2002. American National Standards Institute Inc, 3.4.2002.
- 29 Bundesamt für Strahlenschutz. Röntgenverordnung. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung – RöV), 30.4.2003.
- 30 Order of the Federal Minister for Agriculture and Forestry, the Environment and Water Management, the Federal Minister for labour and Economic Affairs, the Federal Minister for Transport, Innovation and Technology, the Federal Minister for Education, Science and Culture and the Federal Minister for Health and Women's Affairs on general measures for the protection of persons against ionising radiation (General Order on radiation protection), 2005.
- 31 Statens strålskyddsinstitut. SSI FS 1995:2. Regulations on the Use of Equipment in Industry containing Sealed Sources or X-Ray Tubes, 1995.
- 32 The Norwegian Radiation Protection Authority Regulations No. 1362 of 21 November 2003 on Radiation Protection and Use of Radiation, 2003.
- 33 Food and Drug Administration (FDA) turvasarjassa Title 21 – Food and Drugs Chapter I – FDA Department of Health and Human Services, Subchapter J – Radiological Health Part 1020, Performance Standards for Ionizing Radiation Emitting Products, 1.4.2006.
- 34 Health Canada. Radiation Emitting Devices Regulations (C.R.C., c. 1370). Ministry of Health, 2003.

LIITE 1

SUOMESSA TEOLLISUUDEN KÄYTÖSSÄ OLEVAT RÖNTGENLAITEET JA NIIDEN VALMISTAJAT SÄTEILYTURVAKESKUKSELLE ILMOITETTUIJEN LUOKITUSTEN MUKAAN. LÄHDE STUKIN TURVALLISUUSLUPAREKISTERI. 1.2.2007

Valmistaja	Laite
AccuRay	Tuhkamittari
AGILENT	Läpivalaisulaite
Andrex/Yxlon	Läpivalaisulaite
ARL	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
ARL CH	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
ASOMATCI	Paksuusmittari
Astrophysics Research	Läpivalaisulaite
ATOMIKA	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
BALTOSPOT	Läpivalaisulaite
Balzers	Tyhjöhöyrystyslaite
Bede Scientific Instruments Ltd.	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Berthold	Paksuusmittari
BRUKER AXS	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
BSI Instruments	Röntgenfluoresenssianalysaattori
CAMEBAX	Muu analyysilaite
CMI COATING MEA. INSTR.	Paksuusmittari
COLDEN ENG CO	Läpivalaisulaite
Comet	Läpivalaisulaite
Courier	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Courier	Röntgenfluoresenssianalysaattori
CYNCRONA OY	Läpivalaisulaite
DAGE INTERSEM LTD	Läpivalaisulaite
Delta tech.	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
DYLOG Italia	Läpivalaisulaite
Eberline	Paksuusmittari
Enraf-Nonius	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
FAG Daystrom Division	Paksuusmittari
Faxitron	Läpivalaisulaite
Feinfocus GmbH	Läpivalaisulaite
Feinfocus GmbH	Muu analyysilaite
FISCHER D	Paksuusmittari
FOUR Pi Systems	Läpivalaisulaite
Gendex	Läpivalaisulaite
GLENBROOKTECH. INC	Läpivalaisulaite
GOLDEN ENGINEERING INC	Läpivalaisulaite
GreCon	Paksuusmittari
HECUS M. BRAUN	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Heimann GmbH	Läpivalaisulaite
Heimann GmbH	Tarkastuslaite
HEUFT	Tarkastuslaite
IAL Security Products	Läpivalaisulaite
IMS Isotopen Messsysteme GmbH	Paksuusmittari
INNOV-X Systems Inc.	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
INNOV-X Systems Inc.	Röntgenfluoresenssianalysaattori

Valmistaja	Laite
Instrumentarium Oy	Testauslaite
Kartridk Pak CO	Muu analyysilaite
KeveX	Läpivalaisulaite
KeveX	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
KRATOS AI	Muu analyysilaite
L3 Communications	Läpivalaisulaite
Leybold Didactic	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Linescan	Läpivalaisulaite
LIXI	Läpivalaisulaite
MACROTRON PROCESS TECHNOLOGY	Läpivalaisulaite
Measurex	Tuhkamittari
Measurex	Pintapainomittari
Metorex International Oy	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Metorex International Oy	Röntgenfluoresenssianalysaattori
MULLER MACROTANK	Läpivalaisulaite
MURAKI Ltd	Läpivalaisulaite
NICOLET	Läpivalaisulaite
NICOLET	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
NITON	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
NITON	Muu analyysilaite
NITON	Analyysilaite
NOFA	Läpivalaisulaite
NONIUS B.V.	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Optiline PL	Läpivalaisulaite
Outokumpu Electronics Oy	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Outokumpu Electronics Oy	Testauslaite
Outokumpu Mintec	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Oxford	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Oxford	Muu analyysilaite
Oxford	Paksuusmittari
Oxford	Röntgenfluoresenssianalysaattori
Philips	Läpivalaisulaite
Philips	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Philips	Muu analyysilaite
Philips	Röntgenfluoresenssianalysaattori
Phoenix X-RAY	Läpivalaisulaite
Phoenix X-RAY	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Phoenix X-RAY	Muu rtg-laite
Phoenix X-RAY	Tarkastuslaite
Planmeca	Läpivalaisulaite
PLURITEC	Läpivalaisulaite
Quantronics Oy	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Quantronics Oy	Röntgenfluoresenssianalysaattori
Radiometrie RM GmbH	Paksuusmittari
Rapiscan Security Products	Läpivalaisulaite
RIGAKU	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
RSM	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Safeline	Läpivalaisulaite
SCANNA GB	Läpivalaisulaite
Security defense systems Co.	Läpivalaisulaite

Valmistaja	Laite
Sedigraph	Hiukkaskokoanalysaattori
Seifert	Läpivalaisulaite
Seifert	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Seifert	Muu analyysilaite
Serel Industrie	Paksuusmittari
Siemens	Läpivalaisulaite
Siemens	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Siemens	Testauslaite
SIKORA	Läpivalaisulaite
Skyscan	Röntgentomografialaite
Soredex Oy	Läpivalaisulaite
SPECTRO AI GERMANY	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
SR-Instruments Oy	Läpivalaisulaite
Staib Instrumente	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Statec Medisin	Muu analyysilaite
Stratec	Tarkastuslaite
Stratec	Pintakytin
Stresstech	Diffraktio-/fluoresenssianalysaattori
Thermo Radiometrie Ltd	Paksuusmittari
TODD RESEARCH LTD	Läpivalaisulaite
Toshiba	Muu analyysilaite
Tru focus corp	Testauslaite
Wentgate	Elektronisuihkuhitsauslaite
VG Microtec	Muu analyysilaite
X-TEK SYSTEMS LTD	Läpivalaisulaite
Yxlon	Läpivalaisulaite

LIITE 2

STUKin tarkastuksissa suoritettuja mittaustuloksia (1.1.2005–1.3.2006).

Röntgenlaite	Asennus	Annosnopeus käyttöpaikalla $\mu\text{Sv/h}$	Pulssia/ sekunti käyttöpaikalla CPS	Annosnopeus laitteen pinnalla $\mu\text{Sv/h}$	Kuvattavan kohtion keskiarvoannos tutkimusta kohti μSv
Läpivalaisulaite					
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Suljettu	2	n/a	2	100
	Suljettu	<1	n/a	<1	20
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	<1	n/a	<1	40
	Suljettu	<1	n/a	<1	20
	Suljettu	<1	n/a	<1	30–50
	Suljettu	<1	n/a	<1	28
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	40–50
	Suljettu	<1	n/a	<1	30–50
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	30
	Suljettu	<1	n/a	<1	10
	Suljettu	<1	n/a	<1	10

Röntgenlaite	Asennus	Annosnopeus käyttöpaikalla $\mu\text{Sv/h}$	Pulssia/ sekunti käyttöpaikalla CPS	Annosnopeus laitteen pinnalla $\mu\text{Sv/h}$	Kuvattavan kohtion keskiarvoannos tutkimusta kohti μSv
Diffraktometri					
	Avoin	Tausta	n/a	n/a	n/a
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta+	n/a	n/a	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta+	Tausta	n/a	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	0,3
	Avoin	Tausta	Tausta	Tausta	300–1 600
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta+	Tausta	n/a	n/a
	Avoin	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta	n/a	n/a	n/a
	Avoin	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Avoin	Tausta	n/a	Tausta	n/a
Fluoresenssi- analysaattori					
	Suljettu	Tausta	200	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
Kannettava fluoresenssi- analysaattori					
	Avoin	<1	n/a	2	200
	Avoin	>Tausta	n/a	n/a	n/a
Muu analyysilaite					
	Avoin	Tausta	n/a	n/a	n/a
Testaus-/ tarkastuslaite					
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	5	2000	n/a	n/a
	Suljettu	Tausta	Tausta	Tausta	n/a
	Suljettu	n/a	n/a	<2	n/a
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a
	Suljettu	Tausta	n/a	Tausta	n/a

STUK-B sarjan julkaisuja

STUK-B 85 Koskelainen M. Tuote- ja turvatarkastuksissa sekä tutkimuksessa käytettävät röntgenlaitteet.

STUK-B 84 Isaksson R (toim.). Säteily- ja ydinturvallisuus. Neljännesvuosiraportti 2/2007.

STUK-B 83 Venelampi E. Radioaktiivisten aineiden käyttö teollisuuden merkkiainekokeissa.

STUK-B 82 Rantanen E (ed.) Radiation practices. Annual report 2006.

STUK-B 81 Safety assessment of the Loviisa nuclear power plant. Statement regarding the licence application by Fortum Power and Heat Oy concerning the operation of the Loviisa nuclear power plant.

STUK-B 80 Finnish report on nuclear safety. Finnish 4th national report as referred to in Article 5 of the Convention on Nuclear Safety.

STUK-B 79 Kainulainen E (ed.). Regulatory control of nuclear safety in Finland. Annual report 2006.

STUK-B 78 Isaksson R (toim.). Säteily- ja ydinturvallisuus. Neljännesvuosiraportti 1/2007.

STUK-B 77 Mustonen R (toim.). Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa. Vuosiraportti 2006. – Strålningsövervakning av miljön i Finland. Årsrapport 2006. – Surveillance of Environmental Radiation in Finland. Annual Report 2006.

STUK-B 76 Rantanen Erkki (toim.). Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2006.

STUK-B 75 Kainulainen E (toim.). Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta. Vuosiraportti 2006.

STUK-B 74 Hämäläinen M (ed.). Nuclear Safeguards in Finland 2006.

STUK-B-STO 62 Tenkanen-Rautakoski P. Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2005. Helsinki 2006.

STUK-B-STO 61 Rantanen E (ed.) Radiation Practices. Annual Report 2005. Helsinki 2006.

STUK-B-STO 60 Rantanen E. (toim.) Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2005. Helsinki 2006.

STUK-B-STO 59 Rantanen E. (ed.) Radiation Practices. Annual Report 2004. Helsinki 2005.

STUK-B-STO 58 Korpela H. Radioaktiivisten lääkevalmisteiden käyttö Suomessa vuonna 2003. Helsinki 2005.

STUK-B-STO 57 Rantanen E. (toim.) Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2004. Helsinki 2005.

STUK-B-STO 56 Visuri R, Huurto L, Nyberg H. Muutokset solariumien käyttöpaikkojen säteilyturvallisuudessa 1998–2002. Helsinki 2004.

STUK-B-STO 55 Rantanen E. (ed.) Radiation Practices. Annual Report 2003. Helsinki 2004.

STUK-B-STO 54 Rantanen E. (toim.) Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2003. Helsinki 2004.

STUK-B-STO 53 Piri A. Säteilysuojelukoulutuksen tila ja tarve Suomessa vuonna 2003. Helsinki 2004.

STUK-B-STO 52 Miettinen A, Pirinen M. The Dose and Image Quality in Mammography Practice in Finland. Helsinki 2003.

STUK-B-STO 51 Rantanen E. (ed.) Radiation Practices. Annual Report 2002. Helsinki 2003.

STUK-B-raportit STUKin verkkosivuilla:
www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/listaus/?sarja=STUK-B